

## 圧力制御弁の内部流れと流体力に関する研究

著者	増田 精鋭
発行年	2021-03-25
学位授与番号	17104甲情工第356号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00008290">http://hdl.handle.net/10228/00008290</a>

氏 名	増 田 精 銳
学位の種類	博 士 (情報工学)
学位記番号	情工博甲第356号
学位授与の日付	令和3年 3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	圧力制御弁の内部流れと流体力に関する研究
論文審査委員	主 査 教 授  淵 脇 正 樹
	〃 鈴 木 恵 友
	〃 高 橋 公 也
	〃 中 茎 隆
	〃 伊 藤 高 廣

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

航空用ジェットエンジンの燃料制御機構は、厳しい環境下での高い信頼性と小型軽量化が要求される。特に、圧力制御弁は、その主要構成要素の一つであり、燃料供給の基準圧力を一定に保つ機能を有し、さらには、圧力の過昇圧時の安全弁として使用される。圧力制御弁は、主として、弁体、ばね、バルブ・ポートにより構成され、その作動は、弁体に印加される制御圧力による流体力とばねの設定荷重がつり合うように弁体の変位が定まる。その結果、バルブ・ポート開口面積が変化し、燃料流量の圧力損失が制御圧力と一致する。圧力制御弁の作動流量および作動圧力の変域は、エンジンの効率向上のため、最大燃料の増大や巡行燃料流量の低下により広がっており、燃料流量の大きな変化に対して制御性能を維持する必要性が生じている。このような状況下において、ジェットエンジン燃料制御装置の主構成要素の一つである圧力制御弁として使用されるスプール弁およびポペット弁の制御性能の向上を目的として、弁の内部流れに起因する流体力の発生メカニズムを明らかにすることを目的とした。

スプール弁およびポペット弁の内部流れに起因する流体力の発生メカニズムを明らかにするために、2種の汎用流体解析ソフトウェア・ANSYS CFX および Simerics MP+ を用い、弁内部流れの数値シミュレーションを行った。特に、スプール弁とポペット弁の制御特性に強く影響する流体力特性、スプール弁およびポペット弁の流体力発生メカニズム、さらには、ポペット弁の制御圧力に対する流量特性のヒステリシスの発生メカニズムを明らかにした。

スプール弁に働く流体力は、そのフローパターンだけでなく、開口面積に対する流体力との関連性を明らかにした。特に、ピストン端面の噴流の動的挙動と弁の運動方向に対する流体力を関連付け、さらには、流路形状に対する流体力より、その流体力低減の可能性までを明らかにした。具体的には、スプール弁に働く流体力は、ピストン端面の

噴流近傍の静圧低下により弁を閉じる方向に流体力が発生すること、また、その流路形状を改良することにより、弁のピストン端面の静圧低下を補償し、流体力を大幅に低減可能であることを明らかにした。ポペット弁に働く流体力は、そのフローパターンが強く寄与し、流体力発生メカニズムは、そのフローパターンにより変化することを明らかにした。特に、その主たる流体力は、噴流近傍のポペット弁表面の静圧低下により発生する流体力と、弁に噴流が衝突した際の反力の 2 種であることを明らかにした。また、ポペット弁に働く流体力の発生メカニズムに加え、制御圧力に対する流量特性のヒステリシスの発生メカニズムについても検討した。ポペット弁の制御圧力に対する流量特性のヒステリシスを数値シミュレーションにより完全に再現し、その主因は、フローパターンの切り替わり（Attached flow から Straight flow）による流体力の極性変更であることを明らかにするだけでなく、その流体力の極性変更の抑制方法も立案し、その高い一般性と有用性を示した。これらの結果より、圧力制御弁として使用されるスプール弁およびポペット弁に働く流体力の発生メカニズムを弁の内部流れと関連付けることにより明らかにし、スプール弁に働く流体力は、弁のピストン端面の静圧低下を補償することで低減できること、さらには、ポペット弁のヒステリシス現象を再現し、その抑制方法も立案することが可能となり、これらは、航空用ジェットエンジン・ガスタービン分野に大きく寄与できると言える。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文に関して、調査委員から、ポペット弁に働く流体力のヒステリシス特性、ヒステリシス特性の制御理論への展開、スプール弁およびポペット弁に働く流体力のジェットエンジン全体への寄与率、さらには、数値解析と弁の運動方程式との連成解析アルゴリズムについて質問がなされたが、いずれも著者から明確な回答が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。